

PROGETTAZIONE SIMBIOTICA PER UN ECOSISTEMA URBANO RESILIENTE

SYMBIOTIC DESIGN FOR A RESILIENT URBAN ECOSYSTEM

Francesca Olivieri

ABSTRACT

Numerose evidenze scientifiche dimostrano che ci troviamo attualmente immersi in una gravissima emergenza ambientale, dovuta principalmente alle ripercussioni causate dai cambiamenti climatici in atto. La sfida climatica ed ambientale si esaspera nelle città, sistemi fragili già prima dei fenomeni estremi, dove vive attualmente la maggior parte della popolazione, con una tendenza in netto aumento. Una delle strategie con maggior potenziale per contribuire alla transizione delle città verso un modello più resiliente, sostenibile e sano, è l'integrazione di soluzioni basate sulla natura nell'ambiente costruito, se realizzata con chiari obiettivi funzionali. Affinché questo sia possibile lo spazio urbano e gli edifici devono essere concepiti come sistemi viventi, pensati cioè sulla base di un rapporto simbiotico con la natura e progettati per generare un impatto positivo sull'ambiente circostante.

Numerous sources of scientific evidence show that we are currently facing a profoundly serious environmental emergency, mainly due to the repercussions caused by ongoing climatic changes. The climate and environmental challenges are exacerbated in cities: fragile systems faced with extreme climate events where most of the population currently lives and with a sharply increasing trend. One of the strategies with the greatest potential to contribute to the transition of cities towards a more resilient, sustainable, and healthy model is the integration of Nature-based Solutions in built-up environments if applied with clear functional objectives. For this to be possible, urban space and buildings must be imagined as living systems, that is, created based on a symbiotic relationship with nature and designed to generate a positive impact on the surrounding environment.

KEYWORDS

cambiamento climatico, qualità dell'aria, isola di calore, soluzioni basate sulla natura, simbiosi

climate change, air quality, heat island effect, nature-based solutions, symbiosis

Francesca Olivieri, PhD and Architect, is an Associate Professor of Architectural Technology at the Department of Construction and Architectural Technology (DCTA), Universidad Politécnica de Madrid (Spain). She is an expert in Nature-based Solutions and their potential for improving the energy performance of buildings, adapting cities to climate change and improving people's well-being. E-mail: francesca.olivieri@upm.es

Inger Andersen, Direttrice Esecutiva dello United Nations Environmental Program (UNEP) e precedentemente Direttrice Generale della International Union for Conservation of Nature (IUCN), commentando la seconda parte del VI Rapporto di Valutazione (AR6) del Gruppo Intergovernativo di esperti sui cambiamenti climatici, presentato ufficialmente nel febbraio di quest'anno (IPCC, 2022) ha affermato che per secoli l'umanità ha trattato la natura come il suo peggior nemico sebbene possa essere la sua salvatrice. Il VI Rapporto si concentra principalmente sull'analisi degli impatti negativi generati dal riscaldamento globale, sulla capacità di adattamento di persone ed ecosistemi e sulla loro crescente vulnerabilità ante la situazione attuale. Le conclusioni del Rapporto, che costituisce una sintesi dei lavori scientifici svolti da centinaia di studiosi in tutto il mondo, si basano su prove scientifiche chiare secondo cui il cambiamento climatico costituisce un'evidente minaccia per il benessere umano e la salute del pianeta; a differenza dei Rapporti precedenti, le cui conclusioni si basavano principalmente sui risultati di modelli ed estrapolazioni scientifiche relative a possibili scenari futuri, per la prima volta analizza la situazione presente, che assume una connotazione a dir poco sconcertante.

Attualmente l'aumento della temperatura media globale di circa 1,1 °C ha causato danni di vasta portata a sistemi naturali e ambienti di vita e si stima che più di 3 miliardi di persone vivano al giorno d'oggi in condizioni di particolare vulnerabilità ai cambiamenti climatici, in quanto abitano in regioni duramente colpite dalla crisi climatica e ambientale (IPCC, 2022). Essendo il problema di tale portata e colpendo in molti casi regioni del mondo socialmente instabili, già sottoposte a tensioni politiche e economiche, le conseguenze del riscaldamento globale vanno oltre gli effetti ambientali da esso causati: il suo impatto negativo sulla produttività economica scatena infatti innumerevoli problemi di carattere sociale quali lotte, migrazioni e guerre. In uno studio dell'Università di Berkeley (Hsiang, Burke and Miguel, 2013) si dimostra come l'aumento delle temperature medie e delle precipitazioni elevino la probabilità di uno conflitto e la International Organization for Migration calcola che nei prossimi 30 anni, circa 200 milioni di persone saranno costrette ad abbandonare i propri luoghi di origine per spostarsi definitivamente verso altre zone all'interno dello stesso Paese o all'estero per conseguenze derivate dal riscaldamento globale (Myers, 2005).

Nonostante, soprattutto negli ultimi anni, l'adattamento e la mitigazione del cambiamento climatico rappresentino temi centrali nel dibattito internazionale, molto spesso le parole non sono seguite dai fatti; al giorno d'oggi gli studiosi concordano sul fatto che esiste un notevole divario tra la risposta politica che viene data al problema del cambiamento climatico e ciò che sarebbe necessario fare (National Intelligence Estimate, 2021). Capita spesso che azioni pilota con conseguenze di piccola portata occupino le prime pagine dei giornali e vengano spettacolarizzate ed esaltate come risolutive, quando invece le analisi scientifiche dimostrano chiaramente la necessità di un'operazione drastica e urgente, realizzata in partenariato tra governi, settore pri-

vato e società civile, che possa generare un perentorio e reale cambio di tendenza. Laddove gli sforzi compiuti nella pianificazione di azioni volte all'adattamento abbiano portato a una riduzione delle conseguenze estreme, si registra comunque che gli effetti del cambiamento climatico aumentano a un ritmo che supera i progressi fatti nell'adattamento (United Nations Environment Programme, 2021). Le conseguenze a breve termine del cambiamento climatico stanno avendo effetti molto più severi di quanto si sia pensato, essendo state fino ad ora sottovalutate le conseguenze del forte aumento del riscaldamento globale (United Nations Human Settlements Programme, 2011).

C'è infine un'altra questione da considerare: sebbene sia essenziale concentrare gli sforzi sulla capacità di adattamento a breve termine, le azioni rapide – che possono tra l'altro alimentare un falso senso di sicurezza – potrebbero compromettere i progetti a lungo termine. Sono i cosiddetti rischi del 'disadattamento', nei quali le iniziative intraprese per far fronte ai possibili danni derivati dai cambiamenti climatici riducono la possibilità di un adattamento trasformativo, che sarebbe l'unico in grado di migliorare la situazione a lungo termine. Come sottolinea l'Obiettivo 17 dell'Agenda 2030 (UNDP, 2015; United Nations, 2015), affinché gli Obiettivi per lo Sviluppo Sostenibile possano innescare trasformazioni radicali, è necessario creare collaborazioni inclusive costruite su una visione comune che metta al centro le persone ed il pianeta. Così come succede per il resto degli Obiettivi, la nostra società sarà in grado di procedere verso il conseguimento dell'Obiettivo 13 – Lotta contro il Cambiamento Climatico quando inizierà ad adottare soluzioni coordinate a livello internazionale coinvolgendo tutti gli stakeholders.

Città e cambiamento climatico | Se il problema del cambiamento climatico rappresenta una sfida globale, che non rispetta i confini nazionali e le cui conseguenze sono visibili in ogni parte del pianeta, gli studiosi concordano sul fatto che le città sono le più vulnerabili di fronte a questi cambiamenti poiché in esse si percepiscono con maggiore intensità gli effetti (Tapia et alii, 2017). Per le città che si trovano a latitudini intermedie, com'è il caso delle città italiane e in generale delle città dell'area mediterranea, questo si traduce in fenomeni quali innalzamento delle temperature, ondate di calore più frequenti e di maggiore intensità, precipitazioni irregolari e violente seguite da lunghi periodi di siccità e riduzione della stagione fredda, senza dimenticare l'innalzamento costante del livello del mare che nei prossimi decenni metterà a rischio varie città sulle coste italiane (Guida, 2021).

Si sta già sperimentando in modo vertiginoso la probabilità di dover far fronte a eventi meteorologici estremi, distinti a seconda della latitudine geografica tra fenomeni meteorologici, siccità più intense, carenze idriche, ondate di calore, alluvioni e tempeste più violente e stagioni temporalesche più lunghe (Castellari et alii, 2014), i cui costi graveranno sui residenti più vulnerabili (persone malate, anziane e meno abbienti), esasperando le disuguaglianze non solo nei Paesi poveri, ma anche in quelli più ricchi e industrializzati. Oltre agli eventi estremi sopra descritti, c'è un

altro fenomeno che interessa le città: anche se si dovesse riuscire a limitare il riscaldamento globale al di sotto dei 2 °C, si prevede che gli effetti del cambiamento climatico porteranno a uno spostamento delle zone climatiche e questo comporterà un cambiamento importante nel clima della maggior parte delle città (Bastin et alii, 2019).

Il clima di un dato luogo del pianeta è definito da fattori geografici quali posizione, topografia e idrografia, ognuno dei quali si declina in vari elementi e parametri che insieme differenziano le condizioni climatiche di un'area (Fig. 1), tra cui l'irraggiamento solare, la temperatura dell'aria, il vento e l'umidità che si modificano in un contesto urbano; morfologia urbana, proprietà termiche dei materiali da costruzione, presenza o assenza di vegetazione e attività umane hanno un impatto sul clima urbano, poiché ogni struttura urbana crea un clima modificato attorno e su se stessa.

In Europa le aree urbane si trovano sempre più spesso a fronteggiare inondazioni dovute a picchi di precipitazioni e carenze idriche causate da lunghi periodi di siccità, con sistemi di drenaggio e approvvigionamento urbano centralizzati che richiedono molta manodopera e costi di gestione elevati. In risposta a tale criticità la startup Field Factors della Technische Universiteit Delft (TU Delft), in collaborazione con l'Universidad Politécnica de Madrid, ha implementato Bluebloqs (Figg. 2, 3), un progetto coordinato dalla Prof.ssa Francesca Olivieri e finanziato dalla Commissione Europea nel 2019 all'interno del bando Climate KIC Demonstrator. Bluebloqs è una soluzione scalabile basata sulla natura per la gestione decentralizzata delle acque meteoriche nelle aree urbane che evita l'allagamento delle strade e garantisce la disponibilità di acqua dolce, regimentando, trattando e immagazzinando localmente l'acqua piovana attraverso un sistema idrico circolare integrato.

Il sistema può essere implementato a livello di edificio o di quartiere con un impegno ridotto di spazio e aggiungendo la vegetazione all'infrastruttura esistente; in tal modo Bluebloqs ha un impatto positivo nel catalizzare la transizione verso un ciclo urbano naturale dell'acqua e verso città verdi e resilienti. Uno dei quattro prototipi, frutto della concertazione con gli stakeholder del Comune di Madrid e con i proprietari della torre Caleido, è stato realizzato nell'omonimo Parco di Madrid; valutata la fattibilità tecnica in relazione allo specifico contesto geologico e climatico e quella socio-istituzionale, il gruppo di ricerca UPM ha definito le linee guida per l'implementazione del sistema idrico in una rete resiliente prima a livello di quartiere e successivamente per l'intero parco.

Isola di calore e ondata di calore | Il cosiddetto effetto 'isola di calore' che si verifica a seguito dell'aumento del flusso di calore sensibile dalla superficie terrestre all'atmosfera nelle città e nelle aree circostanti, soprattutto durante il periodo notturno, è dovuto alle caratteristiche fisiche dello spazio costruito, principalmente caratterizzato da superfici impermeabili e a elevata capacità di accumulo termico, ai quali si aggiungono fonti di calore ed emissioni di origine antropica.

L'isola di calore può essere definita come la differenza in un dato momento tra un punto rap-

presentativo del centro urbano e un altro punto non urbano o periferico; questo fenomeno è amplificato dalla crescita urbana e aggravato dalla massiccia sostituzione delle aree vegetali con edifici e superfici impermeabili che assorbono calore durante il giorno e lo restituiscono sotto forma di radiazione infrarossa durante la notte, senza permettere il raffrescamento notturno che è funzionale a regolare termicamente l'ecosistema urbano. In climi temperati l'effetto delle ondate di calore, della siccità e delle piogge torrenziali ha un impatto molto importante, soprattutto nei periodi estivi, incidendo sulle condizioni di abitabilità delle città e sulla salute dei suoi occupanti. Sebbene l'intensità dell'isola di calore in alcune città non sia aumentata con il cambiamento climatico, l'aumento generale della temperatura ha trasformato il fenomeno dell'isola di calore in un nuovo rischio climatico, per l'effetto negativo dell'eccesso di calore notturno che si verifica d'estate nei centri urbani, in particolare quando avviene in concomitanza con un'ondata di calore, aggravando lo stress termico a cui è sottoposta la popolazione.

In Spagna, la Agencia Estatal de Meteorología segnala, negli avvisi meteorologici per il rischio derivato dalle temperature elevate, anche le temperature notturne quando non scendono al di sotto dei 25 °C (Torres Benayas, 2021) poiché le 'notte torride', dannose per la salute degli anziani e delle persone affette da malattie croniche tanto quanto le temperature massime registrate nelle ore diurne, contribuiscono significativamente all'aumento di morbilità e mortalità della popolazione urbana (Royé et alii, 2021); possiamo dunque dedurre che anche se il riscaldamento globale non aumenta l'intensità delle isole di calore, aggrava gli effetti negativi sulla salute umana durante la stagione estiva.

Madrid è una città nella quale l'effetto combinato di isola di calore e ondata di calore causa importanti problemi alla popolazione vulnerabile e non solo; giardini verticali e coperture verdi sono tra le soluzioni più efficaci per combattere questi fenomeni nelle aree urbane, dovuti soprattutto alla carenza di vegetazione a livello di suolo. Una ricerca sviluppata da un Gruppo interdisciplinare dell'Universidad Politécnica de Madrid (UPM), coordinato dalla Prof.ssa Francesca Olivieri, ha come principale obiettivo quantificare la riduzione dei valori di temperatura ambientale nelle zone limitrofe a un giardino verticale¹. Il retrofit energetico di un piccolo edificio del Campus (Fig. 4), convertito nella sede dell'Innovation and Technology for Development Cen-



Fig. 1 | View of a Mediterranean landscape in Girona, Spain (source: flickr.com, 2022).

ter (itd-UPM), è stata l'occasione per inserire in parte delle facciate sud ed ovest un giardino verticale modulare (Fig. 5), un sistema di sensori e una stazione meteo, che misurano in tempo reale differenti variabili ambientali sia all'interno che all'esterno. La sperimentazione è ancora in corso ma i risultati ottenuti fino a questo momento dimostrano che le maggiori riduzioni di temperatura si ottengono nei momenti della giornata nei quali i giardini verticali sono sottoposti a un maggior irraggiamento, ovvero a sud nelle ore centrali della giornata e a ovest nel tardo pomeriggio (Sendra-Arranz et alii, 2020).

Qualità dell'aria | Sempre nelle città si gioca un'altra importantissima sfida dei nostri giorni, quella del miglioramento della qualità dell'aria che respiriamo: secondo i dati pubblicati dalla European Environment Agency (EEA, 2019) – il centro dati dell'Unione Europea sull'inquinamento atmosferico (Fig. 6) che contribuisce alla valutazione delle politiche dell'UE in materia di inquinamento atmosferico e allo sviluppo di strategie di lungo termine per migliorare la qualità dell'aria in Europa – circa il 90% degli abitanti delle città è esposto a concentrazioni di inquinanti superiori ai livelli ritenuti dannosi per la salute. L'inquinamento atmosferico è tra principali cause di decesso prematuro e di malattia con elevato rischio sanitario per malattie cardiovascolari, ictus, malattie polmonari e cancro ai polmoni.

Anche l'Organizzazione Mondiale della Sanità (WHO, 2021) dichiara che l'inquinamento dell'aria è attualmente responsabile di 7 milioni di morti premature nel mondo ogni anno e con le nuove linee guida, pubblicate a settembre del 2021, si rivolge a tutti i Paesi del mondo fornendo valori per la qualità dell'aria più stringenti degli standard in vigore in alcune delle città più inquinate il cui livello di inquinamento è anche tre volte superiore ai valori indicati; sebbene i valori indicati dall'OMS non siano legalmente vincolanti dovrebbero essere presi in considerazione per ispirare le legislazioni nazionali e comunitarie in questo campo.

I nuovi valori, fondati su recenti studi sulle relazioni tra inquinamento atmosferico e salute umana, sono inferiori rispetto a quelli indicati nel 2005 (WHO, 2005): la media annuale del particolato fine (PM2.5) passa da 10 a 5 µg/m³, quella del particolato inalabile (PM10) da 20 a 15 µg/m³, il biossido di azoto (NO₂) scende drasticamente da 40 a 10 µg/m³ mentre per il monossido di carbonio (CO) viene suggerito il limite giornaliero di 4 µg/m³. È sufficiente confrontare questi dati con quelli registrati giornalmente nelle nostre città per verificare che, sebbene da qualche anno il calo dell'inquinamento segue una tendenza a lungo termine, siamo ben lontani dal raggiungere questi nuovi valori di riferimento. Bill Wolverton, ricercatore della NASA ha condotto con il suo gruppo diversi studi per identificare sistemi di purificazione dell'aria nelle stazioni spaziali e successivamente negli edifici tra la fine degli anni Ottanta e l'inizio degli anni Novanta (Wolverton, Johnson and Bounds, 1989; Wolverton and Wolverton, 1993; Wolverton and Nelson, 2020), studi che potrebbero essere applicati in parte alle nostre città, dato che nella maggior parte dei casi esse si sono sviluppate senza nessuna relazione logica con gli spazi naturali.

I fenomeni descritti assumono maggiore rilevanza se si considera che in Europa attualmente oltre il 75% della popolazione vive in aree urbane e si prevede che questa percentuale cresca fino all'80% nei prossimi trent'anni; a scala planetaria la situazione non è molto distinta, si prevede infatti che circa il 66% della popolazione mondiale vivrà nelle città entro il 2050 e che il 90% dell'aumento della popolazione urbana avverrà in Africa e in Asia (European Commission – Joint Research Centre, 2020). L'urbanizzazione nei Paesi in via di sviluppo è infatti una delle tendenze più importanti del nostro tempo: la crescita delle città è più veloce che in passato, la popolazione è essenzialmente povera e i governi degli Stati dove queste trasformazioni stanno avvenendo sono deboli e instabili; è quindi evidente che la battaglia climatica si vincerà o si perderà nelle città, come sostenuto da António Guterres, Segretario Generale delle Nazioni Unite nel vertice C40 celebrato a Copenaghen nel 2019.²

Una delle possibili soluzioni che possono contribuire al miglioramento della qualità dell'aria è il MUAC (Modules for Urban Air Cleaning), un progetto finanziato dalla Commissione Europea nel 2018 con il bando Climate KIC Pathfinder. Il MUAC (Figg. 7, 8), sviluppato da un Gruppo di lavoro della Universidad Politécnica de Madrid coordinato dalla Prof.ssa Francesca Olivieri: è un modulo per la purificazione dell'aria urbana efficiente, di facile e rapida installazione, le cui dimensioni e leggerezza lo rendono adatto alla collocazione su quasi tutti i marciapiedi poiché occupa una superficie di soli 0,49 mq. La sostenibilità del modulo è garantita da una struttura metallica e da griglie di plastica riciclabili al 100%, che riducono l'impronta di carbonio alla fine del suo ciclo di vita, ma anche dall'impiego della vegetazione locale, meno sensibile ai cambiamenti meteorologici.

Il MUAC rappresenta una soluzione basata sulla natura per creare città verdi e resilienti, un elemento importante del paesaggio urbano che contribuisce a compensare con la vegetazione le grandi superfici pavimentate e a ridurre le emissioni di gas serra (grazie al sistema di depurazione naturale capace di assorbire particelle come PM2.5 e PM10 e gas come NO_x, CO_x, O₃), migliora il microclima urbano in termini di effetti delle isole di calore, regola i parametri termoisometrici e smorza l'inquinamento acustico. Il MUAC dispone di un monitor che riporta in tempo reale i dati di inquinamento la cui funzione è determinare un impatto indiretto sulla cittadinanza sensibilizzandola attraverso la democratizzazione delle informazioni sull'inquinamento verso una mobilità green.

Città e Natura | Sulla base delle evidenze descritte nei paragrafi precedenti, numerose organizzazioni internazionali hanno messo a punto approcci e strategie per guidare gli attori coinvolti nel mettere in atto azioni di adattamento e mitigazione degli effetti del cambiamento climatico specialmente nelle aree urbane, dove cioè si rilevano gli effetti peggiori (CDP, 2021). Gli esempi mostrati nei paragrafi precedenti indicano che unachiamate a contribuire alla transizione delle città verso un modello più inclusivo, sicuro, resiliente, sostenibile e sano si basa sull'in-

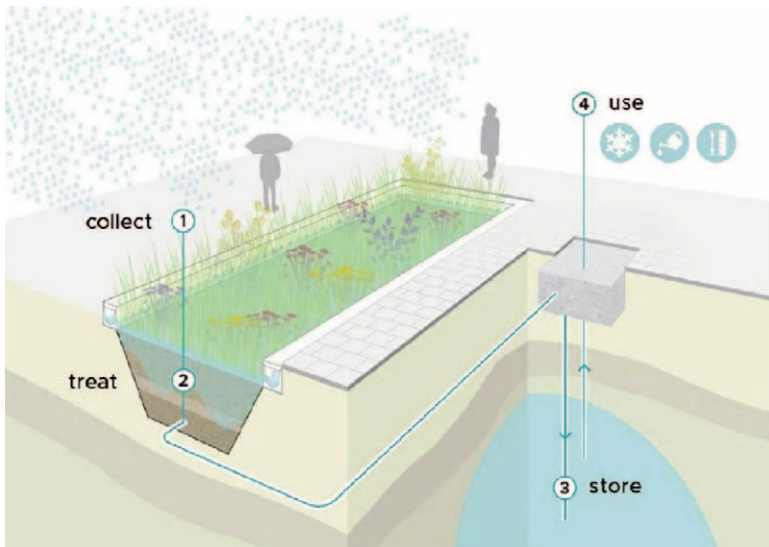


Fig. 2 | The model represented is from the Bluebloqs Circular Water Systems Demonstration project that was installed in the Caledido Park in Madrid, in collaboration with the Universidad Politécnica de Madrid and the Madrid City Council. It is a European project funded by the EIT Climate KIC that seeks to capture, purify and reuse rainwater in cities, creating water reserves within the urban fabric (source: fieldfactors.com, 2022).

Fig. 3 | Detail of the Bluebloqs system installed in the Caledido Park, Madrid.

tegrazione di elementi vegetali nel tessuto urbano (Saiz, Olivieri and Neila, 2016) non per fini estetici, come fatto prevalentemente fino ad ora³, ma con chiari obiettivi funzionali (Tatano, 2008), come sistemi attivi che forniscono alla città gli elementi necessari per metabolizzare e regolare gli agenti inquinanti, migliorare la loro capacità di adattamento e mitigare gli effetti dei cambiamenti climatici.

Secondo questa visione gli spazi urbani, in quanto luoghi dove si svolge la vita, devono essere a loro volta concepiti come sistemi viventi (CEEweb for Biodiversity, 2020): la città, come principale habitat dell'umanità, per poter garantire la propria sopravvivenza deve instaurare una nuova relazione simbiotica basata su un mutuo scambio con i sistemi naturali nei quali si sviluppa, in luogo del vecchio status di mera consumatrice di risorse naturali e generatrice di rifiuti. Con questo fine la nuova filosofia alla base del disegno di spazi urbani e edifici prende spunto dalla 'legge del mutuo sostegno', cioè dalla simbiosi tra le specie, che ha occupato un posto privilegiato nell'evoluzione del mondo naturale, in antitesi alla 'legge del più forte' che continua a predominare nella maggior parte delle attività umane (Ortega and Olivieri, 2021), costringendoci ad affrontare con urgenza il necessario paradigma progettuale delle nostre città.

Per utilizzare le parole di Stefano Mancuso, scienziato di fama internazionale e Direttore del Laboratorio Internazionale di Neurobiologia Vegetale (LINV) dell'Università di Firenze «Le nostre città [...] dovrebbero essere completamente coperte di piante. Non soltanto negli spazi deputati: parchi, giardini, viali, aiuole, ecc. ma dappertutto, letteralmente sui tetti, sulle facciate dei palazzi, lungo le strade, su terrazze, balconi, ciminieri, semafori [...]. La regola dovrebbe essere una sola e semplice: dovunque sia possibile far vivere una pianta, deve essercene una» (Mancuso, 2019, p. 94). Le città non si trovano ad affrontare infatti solamente il cambiamento climatico e la contaminazione, ma anche la mancanza di contatto con la natura, la scarsa interazio-

ne sociale e la mancanza di un senso di appartenenza ai luoghi.

Da qui la necessità di una progettazione interdisciplinare, capace di includere nei processi di pianificazione e progetto tutte quelle professionalità necessarie a comprendere e sviluppare una visione sistemica per fronteggiare gli effetti che la situazione attuale presenta a livello ambientale, sociale, economico e culturale (Nesshöver et alii, 2017); nel caso della progettazione del verde è senza dubbio necessario costruire un ponte tra l'architettura e la biologia, due aree di conoscenza che da secoli coesistono nell'ecosistema urbano senza però convivere (Ortega and Olivieri, 2021), comprendendo alcuni principi della biologia di base che regolano gli ecosistemi per poi applicarli a un nuovo modello di progettazione urbana: ad esempio si potrebbero riqualificare tessuti e ambiti urbani, per generare benefici reciproci a uomo e natura, sfruttando la capacità di alcuni organismi di proliferare nel terreno attorno alle radici (rizosfera)⁴ per assorbire in presenza di acqua gli inquinanti atmosferici.

L'impiego, diffuso fino a poco tempo fa, di specie che richiedono poca acqua si è rivelato poco adeguato in termini di purificazione e di riduzione delle temperature per evapotraspirazione; invece di limitare l'uso di acqua sarebbe stato più logico realizzare sistemi di recupero delle acque piovane per l'irrigazione del verde. Viene quindi da chiedersi come potrebbero essere le città qualora parte del suolo fosse libero di drenare l'acqua e nutrire le relazioni simbiotiche che avvengono nella rizosfera (Fig. 9) e quanto potrebbero essere diverse da quelle nelle quali viviamo.

Tanti sono i principi biologici alla base del funzionamento delle 'infrastrutture verdi', definite dalla European Commission (2014) come una rete di aree naturali e semi-naturali e di spazi verdi capace di erogare servizi ecosistemici alla base del benessere umano e della qualità della vita e di mobilitare gli investimenti che sostengono e valorizzano i diversi benefici (Quaranta, Dorati and Pistocchi, 2021) ambientali (conservazione del-

la biodiversità, adattamento ai cambiamenti climatici, ecc.), sociali (riduzione della povertà, nuovi spazi di relazione e ricreativi, ecc.) ed economici (nuovi posti di lavoro, aumento del valore degli immobili, ecc.).

Il confronto con le infrastrutture grigie, che in genere compiono singole funzioni quali il drenaggio o il trasporto, rendono le infrastrutture verdi attraenti in quanto possiedono il potenziale per affrontare contemporaneamente diversi problemi, tuttavia le infrastrutture grigie tradizionali sono ancora necessarie e hanno ampi margini di integrazione con la natura attraverso le cosiddette Soluzioni basate sulla Natura (NbS). Le NbS forniscono soluzioni sistemiche (alle sfide della società) innovative ed efficienti in termini di risorse volte a introdurre un maggior numero di elementi e processi naturali nelle città e nei paesaggi (UICN, 2020), sono ispirate e supportate dalla natura, forniscono servizi ecosistemici con benefici ambientali, sociali ed economici, aiutano a costruire la resilienza di uno specifico luogo (European Commission – Directorate-General for Research and Innovation, 2015).

In quest'ottica, il termine NbS va oltre i tradizionali principi di conservazione e gestione della biodiversità, riorientando il dibattito sul rapporto tra uomo e natura e rispondendo pienamente agli Obiettivi per lo Sviluppo Sostenibile e l'Agenda 2030 (United Nations, 2015). È possibile identificare tre tipi di NbS (CONAMA, 2019): il tipo 1 (Fig. 10) comprende quelle con un intervento minimo sugli ecosistemi, con l'obiettivo di mantenere o migliorare i servizi ecosistemici, sia all'interno che all'esterno di ecosistemi conservati (esempio sono le riserve naturali, le aree protette per la conservazione della natura e quelle cuscinetto dove le persone vivono e lavorano in modo sostenibile); il tipo 2 prevede interventi su ecosistemi e paesaggi con attività di progettazione innovativa, ad esempio per paesaggi agrari affinché diventino sostenibili e multifunzionali; il tipo 3 (Figg. 11, 12) interessa la gestione degli ecosistemi esistenti e la creazione di nuovi, attraverso i concetti di infrastrutture verdi e blu e con gli



Fig. 4 | Green wall of the itdUPM experimental building in Madrid. The UPM research team is carrying out experimentation on energy demand and microclimate improvements through a real-time monitoring system (credit: T. Sánchez-Moreno Cárdenas, 2022).

Fig. 5 | Detail of the green wall of the itdUPM.

Fig. 6 | Image of the city of Barcelona on a day with high air pollution levels (source: flickr.com, 2022).

Next page

Fig. 7 | MUAC prototype installed at the School of Architecture (ETSAM) of the UPM.

Fig. 8 | MUAC prototype installed at itdUPM.

Fig. 9 | Biofiver module for a vertical garden, where the root development is clearly visible (credit: E. Ortega Molina, 2021).

obiettivi di ripristino di aree altamente degradate o inquinate e di nuove aree, in ambito urbano ed extraurbano (esempio è la realizzazione di tetti e pareti verdi per mitigare il riscaldamento urbano e ridurre l'inquinamento dell'aria o la predisposi-

zione di sistemi di drenaggio urbano sostenibile).

Ci sono poi soluzioni ibride nel tempo e nello spazio, ad esempio soluzioni di tipo 3 che nel tempo diventano di tipo 1 perché oggetto di sola manutenzione. In generale, possiamo riconoscere cinque principi fondamentali che caratterizzano le NbS: 1) sostengono la conservazione della natura; 2) possono essere applicate da sole o integrate con altre soluzioni tecnologiche; 3) hanno carattere locale, nel senso che sono determinate da contesti naturali e culturali specifici del sito; 4) forniscono benefici ambientali, sociali ed economici in modo equo, promuovendo la trasparenza e un'ampia partecipazione (Fig. 13); 5) promuovono la diversità biologica e culturale e garantiscono agli ecosistemi di evolversi nel tempo (Fig. 14).

Conclusioni | Le infrastrutture verdi nelle città, come parchi, alberi, giardini e spazi verdi ricreativi, forniscono importanti servizi ecosistemici, tuttavia le superfici a livello di suolo sono sempre più limitate perché in competizione con nuove aree residenziali, servizi pubblici e altre infrastrutture cittadine: è pertanto urgente considerare tutte le superfici disponibili e tutte le componenti della città che possono contribuire a creare luoghi più salubri e più resilienti per modificare o adattare i nostri spazi aperti, parchi e strade affinché operino in modo multifunzionale e massimizzino la loro efficacia. In questa ottica, anche gli edifici costituiscono una risorsa imprescindibile per rendere le nostre città più resilienti, purché si superi la tradizionale visione della performance (incentrata sull'interno) e si concepiscono le superfici esterne come elementi che possono contribuire a creare ambienti più sani, migliorare le condizioni sociali e contrastare gli effetti derivati dai cambiamenti climatici (ARUP, 2016). È necessario quindi un cambio di visione che consideri l'edificio come un elemento che può generare un impatto positivo nell'ambiente circostante, un passo in avanti rispetto alla visione classica della sostenibilità incentrata sulla riduzione degli impatti negativi generati.

La realizzazione di iniziative e azioni indirizzate a costruire un rapporto simbiotico tra natura e città è funzionale allo sviluppo di una strategia globale volta a incidere positivamente sull'interazione sociale e la salute fisica e mentale dei cittadini, oltre che a garantire un miglioramento delle condizioni ambientali e un adattamento agli effetti dei cambiamenti climatici. La natura multifunzionale delle NbS garantisce la loro capacità di migliorare il funzionamento e la resilienza globale delle aree urbane in cui sono integrate, ma per accelerare il processo di riconoscimento di questa capacità è necessario reinterpretare le azioni basate sulla natura alla luce delle nuove tecnologie e degli strumenti che abilitano il progettista a quantificare l'effetto delle strategie proposte, al fine di ottimizzare il design e rispondere alle esigenze attuali e future. La quantificazione è essenziale affinché i suoi benefici a breve e lungo termine siano riconosciuti e vengano sviluppate politiche che ne favoriscano l'attuazione (Sendra-Arranz et alii, 2020).

Non ci resta che iniziare a creare gli scenari che favoriscono i principi biologici con cui lavora l'ecosistema naturale poiché la natura, nella sua infinita saggezza, ci fornisce già le chiavi per rea-

lizzare non solo città verdi e pulite, ma anche veri e propri ecosistemi urbani naturali: solo attraverso la costruzione di ponti tra l'architettura e la biologia, la simbiosi potrà diventare il paradigma progettuale nell'ecosistema urbano.

Inger Andersen, Executive Director of the United Nations Environmental Program (UNEP) and formerly Director-General of the International Union for Conservation of Nature (IUCN) – commenting on the second part of the Sixth Assessment Report (AR6) of the Intergovernmental Panel of Experts on Climate Change (IPCC), officially presented this February (IPCC, 2022) – said that humanity has spent centuries treating nature like its worst enemy. The truth is that nature can be our saviour, but only if we save it first. The VI Report focuses mainly on the analysis of the negative impacts generated by global warming, the adaptability of people and ecosystems and on their growing vulnerability in the current situation. The conclusions of the Report, which is a summary of the scientific work carried out by hundreds of scholars around the world, are based on clear scientific evidence and underline that climate change constitutes a clear threat to human well-being and the health of the planet. Unlike previous reports, whose conclusions were mainly based on the results of scientific models and extrapolations on possible future scenarios, for the first time, an analysis of the present situation was carried out, which takes on an increasingly disconcerting connotation.

Currently, the increase in the global average temperature, which stands at around 1.1 °C, has already caused far-reaching damage to natural systems and living environments and it is estimated that more than 3 billion people now live in conditions of particular vulnerability to climate change, inhabiting regions severely affected by the climate and environmental crisis (IPCC, 2022). Since the problem is of such magnitude and in many cases affects socially unstable regions of the world already subject to political and economic criticalities, the consequences of global warming go beyond its direct environmental effects. Its negative impact on economic productivity triggers countless social problems such as struggles, migrations, and wars. A study by the University of Berkeley (Hsiang, Burke and Miguel, 2013) shows that the increased average temperatures and precipitation raise the likelihood of conflicts and the International Organization for Migration calculates that in the next 30 years about 200 million people will be forced to abandon their homes to move permanently to other areas within the same country or abroad, as a consequence to global warming (Myers, 2005).

Although adaptation and mitigation of climate change are central issues in the international debate, especially in recent years, words are very often not accompanied by deeds. Nowadays, scholars agree that there is a considerable divergence between the political response that is given to the problem of climate change and what needs to be done (National Intelligence Estimate, 2021). Spectacularized pilot actions with small consequences exalted as decisive often occupy newspaper front pages whereas scientific anal-

yses clearly demonstrate the need for urgent and drastic operations in partnerships between governments, the private sector and civil society that are truly capable of generating a peremptory change of pace. Although efforts in planning adaptation action have led to a reduction in extreme consequences, the effects of climate change are increasing at a rate exceeding the progress made in adaptation (United Nations Environment Programme, 2021). The short-term consequences of climate change are having much more severe effects than previously thought, as the consequences of the sharp rise in global warming have so far been underestimated (United Nations Human Settlements Programme, 2011).

There is also another issue to consider. Although it is essential to focus the efforts on short-term adaptability, rapid actions – which among other things can fuel a false sense of security – could jeopardise long-term projects. These are the so-called ‘maladaptation’ risks, in which the initiatives were taken to deal with the possible damage caused by climate change reduce the possibility of transformative adaptation, which would be the only factor capable of improving the situation in the long term. As Goal 17 of the 2030 Agenda points out (UNDP, 2015; United Nations, 2015), for the Sustainable Development Goals to trigger radical transformations, it is necessary to create inclusive collaborations built on a common vision that focuses on people and the planet. As with the rest of the Goals, as a society, we will be able to move forward towards achieving Goal 13 – Climate Action when it starts adopting internationally coordinated solutions involving all stakeholders.

Cities and Climate Change | The problem of climate change is a global challenge, it does not stay within national borders and its consequences are visible in every part of the planet, and scholars agree that cities are the most vulnerable to these changes. In fact, the repercussions are perceived with greater intensity precisely in the cities (Tapia et alii, 2017). For cities that are in intermediate latitudes, as is the case for Italian cities and in general for the cities of the Mediterranean area, this translates into phenomena such as: rising temperatures, more frequent and more intense heatwaves, irregular and violent rainfalls followed by long periods of drought, reduction of the cold season. In addition, the sea level is set to rise, putting at risk various cities on the Italian coasts in the coming decades (Guida, 2021).

Ultimately, as we are experiencing, the probability of having to cope with extreme weather events is dramatically growing. The events are distinguished according to the geographical latitude in more intense weather phenomena or droughts, water shortages, heatwaves, floods, and more violent storms in longer storm seasons (Castellari et alii, 2014). The most vulnerable residents bear the greatest costs: sick people, the elderly and those with fewer economic resources. Climate change exacerbates inequalities not only in poor countries but also in rich and industrialized countries. In addition to the extreme climate events described above, there is another phenomenon affecting cities. Even if we succeed in limiting global warming to below 2 °C, the effects of climate change are expected to lead to a shift in climate zones,

resulting in a major change in the climate of most cities (Bastin et alii, 2019).

The climate for a given place on the planet is defined by geographical factors such as location, topography, and hydrography, each of them shown by various elements and parameters that together differentiate the climatic conditions of an area (Fig. 1), most notably: solar radiation, air temperature, wind and humidity, which all change in an urban context. Urban morphology, thermal properties of building materials, presence or absence of vegetation and human activities have an impact on the urban climate since each urban structure creates a modified climate around and in it. European urban areas increasingly face flooding due to extreme rainfalls and water shortages caused by extended periods of drought, with centralised urban drainage and supply systems being labour-intensive and expensive to run. To solve this critical issue, the startup Field Factors of the Technische Universiteit Delft (TU Delft), in collaboration with the Universidad Politécnica de Madrid, implemented Bluebloqs (Figg. 2, 3), a project coordinated by Professor Francesca Olivieri and funded by the European Commission in 2019 within the Climate KIC Demonstrator call. Bluebloqs is a scalable nature-based solution for decentralised stormwater management in urban areas that avoids street flooding and ensures freshwater availability by locally regimenting, treating and storing rainwater through an integrated circular water system.

The system can be implemented at the building or neighbourhood level with a reduced space commitment and by adding vegetation to the existing infrastructure. Bluebloqs has a positive impact in catalysing the transition to a natural urban water cycle and resilient green cities. One of the four prototypes, resulting from the consultation with the Madrid City Council stakeholders and the owners of the Caleido tower, was implemented in the Caleido Park in Madrid. After assessing the technical feasibility for the specific geological and climatic context and the socio-institutional feasibility, the UPM research team defined the guidelines for the implementation of the water system in a resilient network first in the neighbourhood and then in the whole park.

Heat Island and Heat Wave | The heat island effect, which is a result of the increased heat flow from the earth’s surface to the atmosphere in cities and surrounding areas (especially at night), is due to the physical characteristics of built-up spaces, mainly characterised by impermeable surfaces and high thermal storage capacity, to which sources of heat and anthropogenic emissions are added.

A heat island can be defined as the difference at a specific time between a point representing the urban centre and another non-urban or peripheral point. This phenomenon is aggravated by the massive replacement of plant areas with buildings and waterproof surfaces which absorb heat by day and return it as infrared radiations at night, hindering the night cooling needed to thermally regulate the urban ecosystem. This problem is amplified by the urban growth we are experiencing and will continue to experience in the years to come. Currently, in temperate climates, heat waves, droughts and torrential rains have a





Fig. 10 | The Green Belt in Vitoria-Gasteiz (Spain) includes six consolidated parks (Armentia, Olarizu, Salburua, Zabalgana, Zadorra, and Errekaleor). This ambitious project aims to recover and restore the outlying areas of Vitoria-Gasteiz and create a larger green recreational area around the city: in the picture, a view of Salburua park (credit: M. Duran, 2012).

Fig. 11 | Example of a green roof system (source: flickr.com, 2022).

Fig. 12 | Green roof module from the company Vertiarte Jardines Verticales S.L., located in Spain (credit: T. Sánchez-Moreno Cárdenas, 2022).

Fig. 13 | View from Casa Milà in Barcelona of the urban renovation in Passeig de Gràcia Avenue (source: flickr.com, 2022).

significant impact, especially in summer, affecting the habitability of cities and the health of their occupants. Although the intensity of the heat islands in some cities has not increased with climate change, the general increase in temperatures has transformed the heat island phenomenon into a new climate risk, due to the negative effect of the excess night heat in urban centres during summer, particularly when it occurs in conjunction with a heatwave. In these situations, the heat island aggravates the thermal stress to which the population is subjected.

The Spanish Agencia Estatal de Meteorología issues meteorological warnings when night temperatures do not go below 25 °C (Torres Benayas, 2021). These so-called 'scorching nights' can be as harmful to the health of the elderly and people suffering from chronic diseases as maximum temperatures recorded by day, since they cause the increase in morbidity and mortality associated with high nocturnal thermal values (Royé et alii, 2021). We can therefore deduce that, even if global warming does not increase the intensity of heat islands, it aggravates their negative effects on human health, due to excessive heat during summer.

In Madrid, the combined effect of heat islands and heatwaves causes major problems to the vulnerable population. Vertical gardens and green roofs are some of the most effective solutions to tackle these phenomena in urban areas, mainly due to the lack of surface area at ground level. A research project developed by an interdisciplinary group at the Universidad Politécnica de Madrid (UPM), coordinated by Professor Francesca Olivieri, has the main objective of quantifying the reduction of environmental temperature values in the areas surrounding a vertical garden¹. The energy retrofit of a small building on the Campus (Fig. 4), converted into the Innovation and Technology for Development Centre (itdUPM), was an opportunity to implement a modular vertical garden (Fig. 5), a sensor system and a weather station, which measure different environmental variables both indoors and outdoors in real-time, on part of the south and west facades. The experimentation is still ongoing, but the results obtained so far show that the greatest temperature reductions are achieved at times of day when vertical gardens are subjected to the radiation most, i.e., to the south in the middle of the day and to the west in the late afternoon (Sendra-Arranz et alii, 2020).

Air Quality | Another particularly important challenge of our time plays out in the cities: improving the quality of the air we breathe. According to data published by the European Environment Agency (EEA, 2019) – the European Union data centre on air pollution (Fig. 6) contributes to the evaluation of EU air pollution policies and the development of long-term strategies to improve air quality in Europe – around 90% of urban dwellers are exposed to harmful levels of pollutant concentrations. It also stated that air pollution is one of the main causes of premature death and illness and constitutes a profoundly serious environmental health risk in most European cities. Cardiovascular diseases and strokes are the most common causes of premature death attributable to air pollution, followed by lung disease and lung cancer.

The World Health Organization (WHO, 2021) states that air pollution is currently responsible for 7 million premature deaths in the world each year. For the first time, the guidelines published in September 2021 addressed all countries in the world and provide uniform air quality targets. The targets set are much more demanding than the standards in force in many countries and in some of the most polluted cities they would mean a reduction of more than three times the current level of contamination.

The bars set are lower than those indicated in the previous document, published in 2005 (WHO, 2005): this is mainly due to a detailed examination of the results of recent scientific studies, which document the negative influence of pollution on human health and highlight that air pollution harms health at lower concentrations than those previously assumed: an annual average of fine particulate matter (PM_{2.5}) decreases from 10 to 5 µg/m³, that of inhalable particulate matter (PM₁₀) from 20 to 15 µg/m³, while for nitrogen dioxide (NO₂) it drops drastically from 40 to 10 µg/m³, and for carbon monoxide (CO) a daily limit of 4 µg/m³ is suggested. The values indicated by WHO are not legally binding but should be considered to inspire national and EU legislation in this field. It is enough to compare this data with that recorded daily in our cities to ascertain that, although the drop in pollution followed a long-term trend for some years, we are far from reaching these new levels. Bill Wolverton, a NASA researcher, and his team carried out several studies to identify air purification systems in space stations in the late 1980s and early 1990s (Wolverton, Johnson and Bounds, 1989; Wolverton and Wolverton, 1993; Wolverton and Nelson, 2020) that could in part be applied to the confined environments of buildings in our cities since in most cases they developed without any logical relationship with natural spaces.

The phenomena described take on greater importance if we consider that in Europe currently over 75% of the population lives in urban areas and this percentage is expected to grow to 80% in the next thirty years. On a planetary scale, the situation is not quite different, about 66% of the world's population is expected to live in cities by 2050 with 90% of that increase in the urban population taking place in Africa and Asia (European Commission – Joint Research Centre, 2020). Urbanization in developing countries is, in fact, one of the most important trends of our time. The growth of cities is now different than it was in the past: it is faster, the population is essentially poor and the governments of the states where these transformations are taking place are weak and unstable. It is, therefore, clear that the climate battle will be won or lost in the cities, as argued by António Guterres, Secretary-General of the United Nations at the C40 summit in Copenhagen in 2019.²

MUAC (Modules for Urban Air Cleaning) is one of the viable solutions that can contribute to the improvement of air quality. It is a project funded by the European Commission in 2018 under the Climate KIC Pathfinder call. The MUAC (Fig. 7, 8) – developed by a team from the Universidad Politécnica de Madrid coordinated by Professor Francesca Olivieri – is an efficient, easy, and quick way to install an urban air purification

module whose size and lightness make it suitable for placement on almost any pavement as it occupies an area of only 0.49 sqm. The sustainability of the module is ensured by a metal structure and 100% recyclable plastic grids which reduce the carbon footprint at the end of its life cycle but also by using local vegetation, less sensitive to weather changes.

The MUAC represents a nature-based solution for creating green and resilient cities, an important element of the urban landscape that helps to compensate for large paved areas with vegetation and to reduce greenhouse gas emissions (thanks to the natural purification system capable of absorbing particles such as PM2.5 and PM10 and gases such as NO_x, CO_x, O₃) by improving the urban microclimate in terms of heat island effects and regulation of thermo-hygro-metric parameters, while at the same time dampening noise pollution. The MUAC is equipped with a monitor reporting in real-time pollution data whose function is to have an indirect impact on citizens by raising their awareness through the democratisation of information on pollution and encouraging the use of green mobility.

City and Nature | Based on the evidence described in the previous paragraphs, numerous international organizations have developed regulations and strategies aimed at finding solutions that contribute to the adaptation and mitigation of climate change and the reduction of contamination, specially oriented to urban areas, given that – as we have seen – the worst effects occur in the cities (CDP, 2021). The search for solutions, to help the stakeholders involved in urban development to address these problems, has led to the formulation of action plans that propose a fundamental change in the understanding of cities. One of the main strategies to contribute to the transition of cities into more inclusive, safe, resilient, sustainable, and healthy models, is based on the integration of plant elements in the urban fabric (Saiz, Olivieri and Neila, 2016). This integration is not carried out for aes-

thetic purposes, as it has mainly been done so far³, but with clear functional objectives (Tatano, 2008), as active systems that provide the city with the necessary elements to metabolise and regulate pollutants, improving their ability to adapt and mitigate the effects of climate change.

According to this vision, urban spaces, as places where life takes place, must in turn be imagined as living systems (CEEweb for Biodiversity, 2020). The city, as the main habitat of humanity, in order to guarantee its survival establishes a constructive relationship with the natural systems in which it develops. This bond must be mutual and equal, which is not possible if the city stands as a mere consumer of natural resources and a generator of waste and residues. Ultimately, we are facing a necessary change of pace regarding the development of urban areas, which can no longer be imagined at the expense of or in conflict with nature but must necessarily be considered based on a symbiotic relationship with it. With this in mind, the new concept underlying the design of urban spaces and buildings takes its cue from the ‘law of mutual support’, that is the symbiosis between species, which has occupied a privileged place in the evolution of the natural world and which is in antithesis with the ‘law of the strongest’, which has instead predominated and continues to predominate in most human activities (Ortega and Olivieri, 2021). This reality forces us to urgently tackle the design paradigm of our cities.

According to Stefano Mancuso, internationally renowned Scientist and Director of the International Laboratory of Plant Neurobiology (LINV) of the University of Florence, our cities should be completely covered in plants, not only in the designated spaces (parks, gardens, avenues, flower beds, etc.) but everywhere (on roofs, on the facades of buildings, along the streets, on terraces, balconies, chimneys, traffic lights). The only and simple rule should be: wherever it is possible to make a plant live, there must be one (Mancuso, 2019). Cities not only face climate change and contamination but also lack contact with nature,

poor social interaction, and the need to develop a sense of belonging to places.

Hence the need for planning in an interdisciplinary form, including in the planning and design processes all the professional skills necessary to understand and develop a vision capable of responding coherently and comprehensively to the various problems that the current situation presents in environmental, social, economic and cultural terms (Nesshöver et alii, 2017). In the case of green design, it is undoubtedly necessary to build a bridge between architecture and biology, two areas of knowledge that have coexisted in the urban ecosystem for centuries, however without working together (Ortega and Olivieri, 2021). In order to build this bridge, it is necessary to know and understand some basic biological principles governing ecosystems and then apply them to a new urban design model. One example is the ability of plants and microorganisms that develop in the soil around roots (rhizosphere)⁴ to transform and exploit air pollutants whose existence is directly related to the presence of water. A process that we could use in our cities to design new spaces in which man and nature may benefit from each other.

Some design choices, quite common until recently, such as that of creating green areas that need little water, have proved to be erroneous because without the presence of water the purifying effect of the plants is reduced, as well as the effect of reducing temperatures due to evapotranspiration. It would have been more logical, for example, to favour the installation of rainwater recovery systems for irrigation of green spaces instead of limiting the use of water. This begs the question of what cities might look like if part of the soil were free to drain water and nourish the symbiotic relationships that occur in the rhizosphere (Fig. 9) and how different they might be from those in which we live.

This and other biological principles underpin the functioning of ‘green infrastructure’, defined by the European Commission as a network of natural and semi-natural areas and green spaces



Fig. 14 | The Madrid Río Project creates an environmental axis from Monte de El Pardo to Getafe and creates an ecologic corridor of more than 2,961 hectares (source: flickr.com, 2022).

Fig. 15 | Traditional Scandinavian green roof (source: pexels.com, 2022).

that provides ecosystem services, which are the basis of human well-being and quality of life (European Commission, 2014). They are described as a tool intended to provide ecological, economic and social benefits through solutions in harmony with nature, to help understand the benefits that nature offers to human society, and to mobilise investments that support and enhance these benefits. Green infrastructures are in fact able to provide multiple functions and advantages in the same area (Quaranta, Dorati and Pistocchi, 2021). These functions can be environmental (e.g., biodiversity conservation or adaptation to climate change), social (supply of water drainage or green spaces) and economic (e.g., supply of jobs and increase in property prices).

In comparison with grey infrastructures, which typically perform single functions such as drainage or transport, green infrastructures are more attractive as they have the potential to tackle several problems simultaneously. Traditional grey infrastructures are still needed, but they can often be strengthened with solutions in harmony with nature. One of the fundamental concepts related to urban green infrastructures is that of Nature-based Solutions (NbS). NbS are solutions to societal challenges inspired and supported by nature, which simultaneously provide environmental, social and economic benefits and help build resilience (European Commission – Directorate-General for Research and Innovation, 2015). They offer ecosystem services that translate into benefits for society. These are locally adapted, resource-efficient systemic interventions aimed at introducing more natural elements and processes into cities and landscapes (IUCN, 2020).

With this in mind, the term NbS goes beyond the traditional principles of biodiversity conservation and management, refocusing the debate on the relationship between humans and nature and fully responding to the Sustainable Development Goals and the 2030 Agenda (United Nations, 2015). We can identify three types of NbS (CONAMA, 2018): type 1 (Fig. 10) includes those with minimal intervention in ecosystems, intending to maintain or improve ecosystem services, both within and outside protected ecosystems (e.g. nature reserves, nature conservation areas and buffer zones where people live and work sustainably); type 2 involves working on ecosystems and landscapes with innovative design activities (e.g. for agricultural landscapes to become sustainable and multifunctional); type 3

(Fig. 11, 12) concerns the management of existing ecosystems and the creation of new ones, through the concepts of green and blue infrastructure and with the objectives of restoring highly degraded or polluted spaces and new areas, in urban and suburban neighbourhoods (e.g., the construction of green roofs and walls to mitigate urban warming and reduce air pollution or the provision of sustainable urban drainage systems).

Then there are the hybrid solutions in time and space. Solutions that can be type 3 and that over time become type 1 because they only need to be maintained. In general, we can recognise five fundamental principles of NbS: 1) they adopt the rules and principles of nature conservation; 2) they can be applied alone or integrated with other technological solutions; 3) they are local, that is, determined by natural and cultural contexts specific to a site (Fig. 13); 4) they fairly provide social benefits, promoting transparency and broad participation; 5) they promote biological and cultural diversity and the ability of ecosystems to evolve over time (Fig. 14).

Conclusions | Green infrastructures in cities, such as parks, trees, gardens, and recreational green spaces provide important ecosystem services. However, ground-level areas are increasingly limited because they compete with new residential areas, utilities, and other urban facilities. Therefore, it is urgent to take into consideration all available surfaces. All parts of the city can help create healthier and more resilient environments. We are called upon to modify or adapt our outdoor spaces, parks, and streets so that they operate in a multifunctional way maximizing their effectiveness. In this perspective, buildings are an essential resource to make our cities more resilient, leaving aside the traditional vision of performance (focused indoors) and conceiving outdoor surfaces as elements that can contribute to creating healthier environments, improving social conditions, and countering climate change effects (ARUP, 2016). This change of focus, therefore, leads us to consider a building as an element that is called upon to generate a positive impact on the surrounding environment, a step forward compared to the classic vision of sustainability strongly focused on reducing the negative impacts generated.

The implementation of initiatives and actions aimed at building a symbiotic relationship between nature and city is functional to the devel-

opment of a global strategy aimed at positively affecting social interaction and the physical and mental health of citizens, as well as ensuring an improvement in environmental conditions and an adaptation to the effects of climate change. The multifunctional quality of Nature-Based Solutions ensures their ability to improve the functioning and overall resilience of the urban areas in which they are integrated. To accelerate the process of recognition of this ability, it is necessary to reinterpret nature-based actions in the light of new technologies and tools that enable a designer to quantify the effect of the proposed strategies, in order to optimise a design and respond to current and future needs. This quantification is crucial for its short- and long-term benefits to be recognised and policies to be developed that favour the implementation of these strategies (Sendra-Arranz et alii, 2020).

We can only start creating the scenarios that favour the biological principles of the natural ecosystem, since nature, in its infinite wisdom, already provides us with the keys to create not only green and clean cities but also true natural urban ecosystems: only by building bridges between architecture and biology, symbiosis can become the design paradigm in the urban ecosystem.

Notes

1) The vertical garden system used in the itdUPM building and the MUAC vegetation tower is the Biofiver modular system by the Spanish company Vertiarte.

2) For more information, see: unfccc.int/news/guteres-cities-are-where-the-climate-battle-will-largely-be-won-or-lost [Accessed 12 March 2022].

3) Green roofs are certainly one of the best-known and most popular vegetal elements integrated into the urban fabric. They have been used since ancient times, for example, some signs were found in numerous Roman villas (Abram, 2004). The value of these solutions was mainly architectural and aesthetic, there were no functional im-

plications until at least the Middle Ages when they were sometimes used for the cultivation of vegetables. Examples of green roofs used to improve indoor environmental conditions can be found in the rural architecture of many regions of the world. Among the best-known cases, there are Iceland and Norway (Fig. 15), where they were used for thermal insulation purpose. The technological-environmental values of these solutions were formalized in a treatise written in the late 1860s by the German Architect Carl Rabitz, in which the advantages of improved urban environmental quality were highlighted, with particular attention to the densely urbanized neighbourhoods arising as a result of the industrial revolution. Subsequently, in the twentieth century, the architectural culture of the

time began to consider the green roof as an element in which the combination of building and environment was fully identified. The Toit terrace is one of the five points of Le Corbusier's New Architecture and is used in the projects of internationally renowned architects such as A. Aalto and F. L. Wright. Currently, although the energy and environmental benefits of green roofs and in general other plant elements integrated into architecture – such as vertical gardens – have been demonstrated in numerous scientific studies, the idea that their function is mainly aesthetic is still widespread.

4) In this place, hidden from our eyes, a truly symbiotic relationship is produced between the plant kingdom and the world of microorganisms. Plants make it easier for

airborne particles to reach the rhizome of the soil, where microorganisms are tasked with transforming these harmful substances into compounds that can be absorbed by the roots and that plants need.

References

- Abram, P. (2004), *Giardini pensili – Coperture a verde e gestione delle acque meteoriche*, Sistemi Editoriali, Napoli.
- ARUP (2016), *Cities Alive – Green Building Envelope*. [Online] Available at: arup.com/perspectives/publications/research/section/cities-alive-green-building-envelope [Accessed 12 March 2022].
- Bastin, J-F., Clark, E., Elliott, T., Van den Hoogen, J., Hordijk, L., Ma, H., Majumder, S., Manoli, G., Mascher, J. Mo, L., Routh, D., Yu, K., Zohner, C. M. and Crowther, T. W. (2019), “Understanding climate change from global analysis of city analogues”, in *PLOS ONE*, vol. 14. [Online] Available at: doi.org/10.1371/journal.pone.0217592 [Accessed 13 April 2022].
- Castellari, S., Venturini, S., Ballarin Denti, A., Bigano, A., Bindi, M., Bosello, F., Carrera, L., Chiriaco, M. V., Danovaro, R., Desiato, F., Filpa, A., Gatto, M., Gaudioso, D., Giovanardi, O., Giupponi, C., Gualdi, S., Guzzetti, F., Lapi, M., Luise, A., Marino, G., Mysiak, J., Montanari, A., Ricchiuti, A., Rudari, R., Sabbioni, C., Sciortino, M., Sinisi, L., Valentini, R., Viaroli, P., Vurro, M. and Zavatarelli, M. (eds) (2014), *Rapporto sullo stato delle conoscenze scientifiche su impatti, vulnerabilità ed adattamento ai cambiamenti climatici in Italia*, Ministero dell’Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare, Roma. [Online] Available at: mite.gov.it/sites/default/files/archivio/allegati/clima/snacc_2014_rapporto_stato_conoscenze.pdf [Accessed 21 March 2022].
- CDP (2021), *Cities on the route to 2030 – Building a zero emissions, resilient planet for all*. [Online] Available at: cdp.net/en/research/global-reports/cities-on-the-route-to-2030 [Accessed 10 March 2021].
- CEEweb for Biodiversity (2020), *Green Infrastructure and Nature-Based Solutions for Urban Biodiversity*. [Online] Available at: ceeweb.org/publication.php?id=714 [Accessed 12 March 2022].
- CONAMA (2019), *Informe de Situación de Soluciones basadas en la Naturaleza en España*. [Online] Available at: fundacionconama.org/fondo-documental/ [Accessed 14 March 2021].
- EEA – European Environment Agency (2019), *The European Environment – State and outlook 2020 – Knowledge for transition to a sustainable Europe*. [Online] Available at: eea.europa.eu/soer/publications/soer-2020 [Accessed 17 May 2022].
- European Commission (2014), *Building a Green Infrastructure for Europe*. [Online] Available at: doi.org/10.2792/738 [Accessed 14 April 2022].
- European Commission – Joint Research Centre (2020), *Atlas of the human planet 2019 – A compendium of urbanisation dynamics in 239 countries*, Publications Office. [Online] Available at: data.europa.eu/doi/10.2760/014159 [Accessed 13 March 2022].
- European Commission – Directorate-General for Research and Innovation (2015), *Towards an EU research and innovation policy agenda for nature-based solutions & re-naturing cities – Final report of the Horizon 2020 expert group on ‘Nature-based solutions and re-naturing cities’ (full version)*, Publications Office. [Online] Available at: data.europa.eu/doi/10.2777/479582 [Accessed 14 April 2021].
- Guida, C. (2021), *Irischi naturali del cambiamento climatico nelle città del Mediterraneo*, Federico II Open Access University Press. [Online] Available at: fedoa.books.unina.it/index.php/fedoapress/catalog/book/199 [Accessed 14 April 2021].
- Hsiang, S. M., Burke, M. and Miguel, E. (2013), “Quantifying the influence of climate on human conflict”, in *Science*, vol. 341, n. 6151. [Online] Available at: doi.org/10.1126/science.1235367 [Accessed 13 April 2022].
- IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change (2022), *Climate Change 2022 – Impacts, Adaptation and Vulnerability*. [Online] Available at: ipcc.ch/report/ar6/wg2/ [Accessed 12 March 2022].
- Mancuso, S. (2019), *La nazione delle piante*, Laterza, Roma-Bari.
- Myers, N. (2005), “Environmental refugees – An emergent security issue”, *Proceeding of the 13th Economic Forum, Prague, May 23-27, 2005*. [Online] Available at: osce.org/files/t/documents/c/3/14851.pdf [Accessed 12 March 2022].
- National Intelligence Estimate (2021), *Climate Change and International Responses Increasing Challenges to US Nation Security Through 2040*. [Online] Available at: dni.gov/files/ODNI/documents/assessments/NIE_Climate_Change_and_National_Security.pdf [Accessed 17 May 2022].
- Nesshöver, C., Assmuth, T., Irvine, K. N., Rusch, G. M., Waylen, K. A., Delbaere, B., Haase, D., Jones-Walters, L., Keune, H., Kovacs, E., Krauze, K., Kylvik, M., Rey, F., van Dijk, J., Vistad, O. I., Wilkinson, M. E. and Wittmer, H. (2017), “The science, policy and practice of nature-based solutions – An interdisciplinary perspective”, in *Science of the total environment*, vol. 579, pp. 1215-1227. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.11.106 [Accessed 24 March 2022].
- Ortega, E. and Olivieri, F. (2021), “Symbiosis y empatía – Puentes entre el diseño urbano y la rizosfera”, in *Ciudad Sostenible Resiliente e Innovadora*, n. 44, pp. 7-11. [Online] Available at: ciudadostenible.eu/wp-content/uploads/2021/12/CS44.pdf [Accessed 28 March 2022].
- Quaranta, E., Dorati, C. and Pistocchi, A. (2021), “Water, energy and climate benefits of urban greening throughout Europe under different climatic scenarios”, in *Scientific Reports*, vol. 11, issue 1, pp. 1-10. [Online] Available at: doi.org/10.1038/s41598-021-88141-7 [Accessed 24 March 2022].
- Royé, D., Sera, F., Tobias, A., Lowe, R., Gasparini, A., Pascal, M., de Donato, F., Nunes, B. and Teixeira, J. P. (2021), “Effects of hot nights on mortality in southern Europe”, in *Epidemiology*, vol. 32, issue 4, pp. 487-498. [Online] Available at: doi.org/10.1097/EDE.0000000000001359 [Accessed 28 March 2022].
- Saiz, S., Olivieri, F. and Neila, J. (2016), “Green roofs – Experimental and analytical study of its potential for urban microclimate regulation in Mediterranean-continental climates”, in *Urban Climate*, vol. 17, pp. 304-317. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.uclim.2016.02.004 [Accessed 28 March 2022].
- Sendra-Arranz, R., Oquendo, V., Olivieri, L., Olivieri, F., Bedoya, C. and Gutierrez, A. (2020), “Monitorization and statistical analysis of south and west green walls in a retrofitted building in Madrid”, in *Building and Environment*, vol. 183, 107049, pp. 1-13. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.buildenv.2020.107049 [Accessed 23 March 2022].
- Tapia, C., Abajo, B., Feliu, E., Mendizaba, M., Martinez, J. A., Fernandez, G., Laburu, T. and Lejarazu, A. (2017), “Profiling urban vulnerabilities to climate change – An indicator-based vulnerability assessment for European cities”, in *Ecological Indicators*, vol. 78, pp. 142-155. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.ecolind.2017.02.040 [Accessed 10 March 2022].
- Tatano, V. (2008), *Verde – Naturalizzare in verticale*, Maggioli Editore, Santarcangelo di Romagna (RM).
- Torres Benayas, V. (2021), “El peligro de las noches tropicales – Cómo aumenta la mortalidad dormir a más de 25°”, in *El País*, 05/07/2021. [Online] Available at: elpais.com/clima-y-medio-ambiente/2021-07-05/el-peligro-de-las-noches-tropicales-como-aumenta-la-mortalidad-dormir-a-mas-de-25-grados.html [Accessed 10 March 2022].
- UICN – Union Internacional para la Conservación de la Naturaleza y de los Recursos Naturales (2020), *Orientación para usar el Estándar Global de la UICN para soluciones basadas en la naturaleza – Primera edición*. [Online] Available at: doi.org/10.2305/IUCN.CH.20.20.09.es [Accessed 14 March 2022].
- UNDP – United Nations Development Programme (2015), *Sustainable Development Goals (SDG)*. [Online] Available at: undp.org/sustainable-development-goals [Accessed 28 February 2022].
- United Nations (2015), *Transforming our world – The 2030 Agenda for Sustainable Development*. [Online] Available at: sustainabledevelopment.un.org/post2015/transformingourworld/publication [Accessed 28 February 2022].
- United Nations Environment Programme (2021), *Adaptation Gap Report 2020 – Executive Summary*. [Online] Available at: wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/34726/AGR_en.pdf?sequence=35 [Accessed 17 May 2022].
- United Nations Human Settlements Programme – UN-Habitat (2011), *Cities and climate change – Global Report on Human Settlements 2011*. [Online] Available at: unhabitat.org/global-report-on-human-settlements-2011-cities-and-climate-change [Accessed 13 March 2022].
- WHO – World Health Organization (2021), *WHO global Air quality guidelines – Particulate matter (PM2.5 and PM10), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide*. [Online] Available at: who.int/publications/i/item/9789240034228 [Accessed 12 March 2022].
- WHO – World Health Organization (2005), *Air quality guidelines – Global update 2005*. [Online] Available at: wedocs.unep.org/handle/20.500.11822/8712.jsessionid=5D89F18B80B36181CB8556E44BF25E63 [Accessed 12 March 2022].
- Wolverton, B. C., Johnson, A. and Bounds, K. (1989), *Interior landscape plants for indoor air pollution abatement – Final Report*, National Aeronautics and Space Administration (NASA), John C. Stennis Space Center, Science and Technology Laboratory Stennis Space Center, MS 39529-6000. [Online] Available at: ntrs.nasa.gov/citations/19930073077 [Accessed 29 March 2022].
- Wolverton, B. C. and Nelson, M. (2020), “Using plants and soil microbes to purify indoor air – Lessons from NASA and Biosphere 2 experiments”, in *Field Actions Science Reports*, special issue 21, pp. 54-59. [Online] Available at: journals.openedition.org/factsreports/6092 [Accessed 29 March 2022].
- Wolverton, B. C. and Wolverton, J. D. (1993), “Plants and soil microorganisms – Removal of formaldehyde, xylene and ammonia from the indoor environment”, in *Journal of The Mississipp Academy of Sciences*, vol. 38, pp. 11-15. [Online] Available at: wolvertonenvironmental.com/MsAcad-93.pdf [Accessed 29 March 2022].